

вследствие чего и получили широкое распространение за рубежом. Следовательно, и в нашей стране интерес к таким конструкциям будет возрастать.

Однако изучению работы балок с круглыми отверстиями посвящено относительно мало работ. Неопределенным остается подход к анализу прочности и устойчивости балок с круглой перфорацией. Поэтому в дальнейших исследованиях необходимо изучить данные конструкции на основе конечно-элементных моделей, проверить результаты с помощью натурных экспериментов и разработать практические рекомендации по их проектированию и изготовлению.

1. Металлические конструкции. Т.1 / Под ред. В.В. Горева. – М. : Высш. шк., 2004. – 551 с.

2. Проектирование металлических конструкций. Специальный курс / Под ред. В.В. Бирюлева. – Л. : Стройиздат, 1990. – 432 с.

3. Притыкин А.И. Разработка методов расчета и конструктивных решений балок с однорядной и двухрядной перфорацией стенки: Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / А.И. Притыкин. – М. : ЦНИИПСК им. Мельникова, 2011. – 44 с.

4. Соловьев А.В. Двутавровые сварные балки переменного сечения с круглой перфорацией / А.В. Соловьев, И.С. Холопов, А.О. Лукин // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – №8. – С.27-30.

5. Фоменко Е.Ю. Изгибно-крутильная форма потери устойчивости внецентренно-сжатых стальных двутавровых стоек с перфорированной стенкой: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Е.Ю. Фоменко. – Красноярск: СФУ, 2011. – 26 с.

*Получено 09.11.2011*

УДК 544.163

А.П.НИКОЛАЕВ, канд. техн. наук, М.М.КУЗНЕЦОВА

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА**

Рассматривается вопрос об использовании активного карбоната кальция вместо гипсового камня в составе портландцемента и шлакопортландцемента для регулирования сроков схватывания указанных вяжущих материалов. Приведенные эксперименты показывают, что данная замена возможна в частичном виде без потерь строительно-технических свойств цементов и целесообразна с позиции снижения их себестоимости.

Розглядається питання щодо можливості використання активного карбонату кальцію замість гіпсового каменя в складі портландцементу і шлакопортландцементу для регулювання термінів схоплювання вище наданих в'язучих матеріалів. Наведені експерименти засвідчують, що дана заміна можлива частково без втрат будівельно-технічних властивостей цементу і доцільна з позиції зниження їх собівартості.

The paper presents the experimental findings which show that calcium sulfate dehydrate can be replaced by calcium carbonate as a component regulating the period of hardening in the

process of producing Portland cement and Portland blast-furnace cement. The above proposed replacement of the component will ensure production costs reduction with no compromise in the quality of the end product.

*Ключевые слова:* портландцемент, шлакопортландцемент, гипсовый камень, карбонат кальция, гидросульфоалюминаты, гидрокарбоалюминаты, измельчение клинкера, сроки схватывания, строительно-технические показатели.

Предложение по введению гипсового камня в состав цемента для улучшения его строительно-технических свойств содержится еще в наставлениях изобретателя портландцемента (ПЦ) – русского инженера Е.Челиева [1, 2]. По современным представлениям гипсовый камень выступает в качестве источника  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , необходимого для образования первичных продуктов гидратации, регулирующих сроки схватывания портландцемента [3]. Данную роль выполняет минерал этtringит  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$  – гидросульфоалюминат кальция, образующийся на базе двуводрата гипса и трехкальциевого алюмината. Механизм управления динамикой схватывания цемента основан на экранирующем действии слоя гидросульфоалюминатов, который образуется на поверхности частиц клинкера и регулирует в дальнейшем доступ к ним воды затворения. Дозировку гипса осуществляют из расчета содержания в клинкере трехкальциевого алюмината [3].

Гипсовый камень, как правило, отсутствует в собственной сырьевой базе цементных предприятий, что вызывает дополнительные затраты при производстве портландцемента, связанные с приобретением данного компонента. Отсюда следует экономическая целесообразность полной или частичной замены гипсового камня на более доступные материалы. В качестве такой замены можно использовать карбонатные породы цементных сырьевых карьеров. Известно, что карбонатные добавки достаточно давно используют в составах цемента и бетонов [4, 5], однако их применение осуществляли на фоне регулирования сроков схватывания цемента по гидросульфоалюминатному механизму.

Существует мнение, что активный карбонат кальция может выполнять те же функции по регулированию сроков схватывания портландцемента, как и двуводный гипс [6]. Данное предположение связано с тем, что карбонатная добавка к цементу не является инертным компонентом, так как при его гидратации в результате взаимодействия  $\text{CaCO}_3$  с алюминатной фазой портландцементного клинкера образуются гидрокарбоалюминаты кальция различной основности –  $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  и  $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaCO}_3 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ . Указанные соединения могут выполнять те же функции, что и гидросульфоалюминаты при использовании гипсового камня в составе портландцемента.

Для исследований использовали цементы на основе портландце-

ментного клинкера Балаклеяского цементного завода “Балцем”.

Цементы готовили путем смешивания предварительно измельченных компонентов до полного прохода материалов через сито 80 мкм с последующим домолом и гомогенизацией составленных композиций в вибромельнице.

Твердение проб цементного теста организовывали при 100% влажности в закрытом пространстве с гидрозатвором. Физико-механические свойства соответствующих проб определяли путем периодического измерения их микротвердости. Данная оригинальная методика позволяет оценить процессы структурирования для небольших образцов при гидратации в идентичных условиях. Реологические свойства затворенных цементов сопоставляли по расплыву одинаковых порций цементных паст на стеклянной поверхности вибростолика в течение 10 с.

В табл.1 приведены параметры затворения и сроки схватывания изготовленных цементов.

Таблица 1 – Характеристики цементов и параметры их затворения

№ п/п	Содержание компонентов, %			В/Ц, отн. ед	Растекаемость, мм	Сроки схватывания, ч-мин.	
	клинкер	гипс	мел			начало	конец
1	100,0	0,0	0,0	0,26	63	-	0-15
2	95,0	0,0	5,0	0,26	66	1-00	3-00
3	95,0	5,0	0,0	0,26	65	1-00	2-50

Согласно данным, приведенным в таблице, конец схватывания для чистого клинкера (проба 1) наступил через 15 мин. после начала затворения, а пробы №2 и 3 показали практически одинаковые сроки схватывания, соответствующие требованиям к цементам согласно ДСТУ Б В. 2.7-46-2010 [7].

На рис.1 приведены параметры твердения цементов в первые двое суток гидратации.

Как видно, микротвердость цементного камня с добавкой мела ниже чем для цемента с гипсовым камнем. Проба бездобавочного клинкера показала наименьшую микротвердость. Гидратируемые цементы отличались по внешнему виду. Поверхность твердеющего образца с гипсовым регулятором схватывания имела глянцевого вид в отличие от матовых поверхностей остальных проб. Данный признак свидетельствует о том, что для системы на основе цемента с добавкой гипсового камня в нужный момент наступил индукционный период гидратации в отличие от аналогичной на основе безгипсового цемента, где гидратация продолжалась, что и вызвало химический отсос воды из жидкой фазы ана-

лизируемых проб. Для цемента с добавкой мела ситуация имела промежуточный характер.

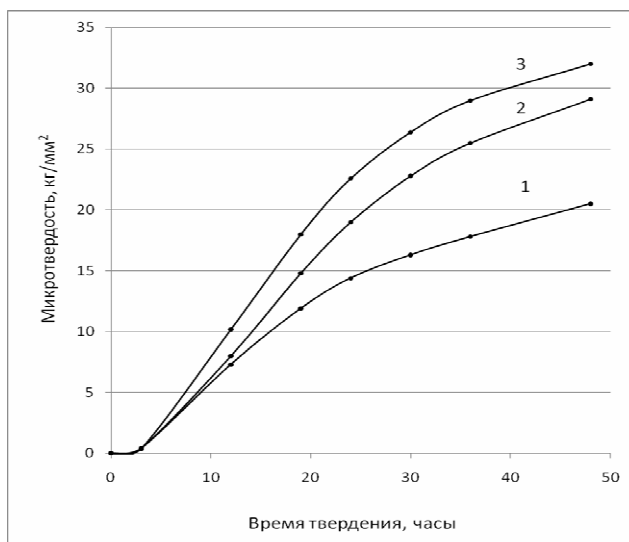


Рис.1 – Изменение микротвердости цементного камня в ранние сроки твердения (номера кривых соответствуют нумерации табл.1)

В связи с вышеизложенным было принято решение исследовать поведение цементов с частичной заменой гипсового камня на мел. За основу минимально необходимого количества гипсового камня взято его двухпроцентное содержание. Такая ситуация отвечает одному проценту вносимого с данным материалом в цемент ангидрида серной кислоты –  $SO_3$ , что позволяет не выходить за рамки требований к ПЦ согласно ДСТУ Б В.2.7-46-2010 [7]. Состав изготовленных цементов приведен в табл.2.

Таблица 2 – Вещественный состав цементов и параметры их затворения

№ п/п	Содержание компонентов, %			В/Ц, отн. ед	Растекаемость, мм	Сроки схватывания, ч-мин.	
	клинкер	гипс	мел			начало	конец
1	95,0	5,0	0,0	0,28	63	1-00	2-40
2	95,0	2,0	3,0	0,28	68	1-10	2-50
3	93,0	2,0	5,0	0,28	69	1-20	2-50

Данные табл.2 показывают, что частичная замена гипса мелом несколько отодвигало сроки схватывания цементов и улучшало их реологические показатели. Поверхности всех проб цементного камня имели глянцевый вид, что косвенно свидетельствовало о наличии инкубационного периода при твердении цементов.

На рис.2 приведены кривые твердения анализируемых цементов.

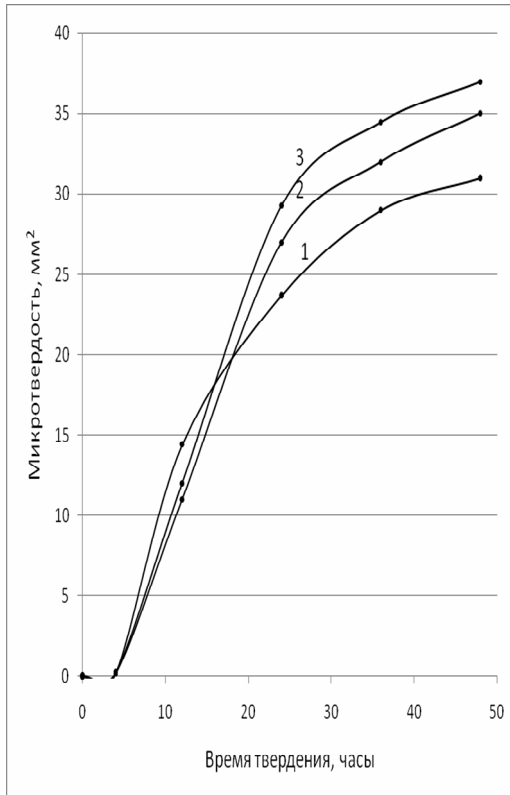


Рис.2 – Изменение микротвердости цементов в процессе их твердения (номера кривых соответствуют нумерации табл.2)

По характеру кривых видно, что замена части гипсового камня мелом улучшает физико-механические показатели анализируемых образцов в ранние сроки их твердения. Данное обстоятельство соответствует существующим представлениям о том, что карбонатная добавка способствует кристаллизации гидратных новообразований [4, 6].

Поскольку ПЦ, как правило, содержит значительное количество активированного доменного шлака, не говоря уже о шлакопортланд-цементе (ШПЦ), то необходимо определить возможность частичной замены гипса мелом на фоне достаточного содержания шлакового компонента в составе цементов. Дополнительная необходимость в этом заключается в том, что гипсовый камень может выступать в качестве источника сульфатной активации скрытых гидравлических свойств минералов шлака, и уменьшение его содержания может привести к снижению прочности твердеющих клинкерно-шлаковых композиций.

Для проведения последующих экспериментов были изготовлены цементы согласно данным табл.3.

Таблица 3 – Вещественный состав цементов и параметры их затворения

№ п/п	Содержание компонентов, %				В/Ц, отн.ед	Растекаемость, мм	Сроки схватывания, ч-мин.	
	клинкер	шлак	гипс	мел			начало	конец
1	47,5	47,5	5,0	0,0	0,28	63	1-00	2-55
2	47,5	47,5	2,0	3,0	0,28	68	1-10	3-10
3	46,5	46,5	2,0	5,0	0,28	69	1-20	3-00
4	46,5	46,5	2,0	5,0*	0,28	68	1-20	3-25

*Примечание:* в пробе №4 из 5% добавки мела 2% были представлены декарбонизированным материалом.

На рис.3 показана динамика твердения испытуемых цементов.

Из приведенного материала видно, что, также как и для без-добавочных цементов, замена части гипсового камня мелом улучшает физико-механические показатели цементов со значительным содержанием доменного гранулированного шлака в ранние сроки твердения. Повышение микротвердости цементно-шлаковой композиции при использовании частично декарбонизированного мела (проба №4) можно отнести за счет щелочной активации шлаковых минералов. Кроме того, уменьшение клинкерной и шлаковой составляющей, а также замена покупного гипсового камня на аналогичное количество мела из собственных сырьевых ресурсов цементных предприятий, позволяет снизить себестоимость производимой ими продукции.

Дополнительно были изготовлены цементы путем механического смешивания предварительно измельченных компонентов без их последующего совместного доизмельчения. Необходимо отметить, что для таких систем схватывание наступало еще при перемешивании их с водой независимо от вида используемых добавок. Данное обстоя-

ятельство свидетельствует о том, что регулирование сроков схватывания цементов находится под влиянием не только количества введенных добавок, но и от их способа введения. Можно предположить, что использование различных способов изготовления ПЦ и ШПЦ путем их совместного либо раздельного измельчения требует корректировки введения добавок, изменяющих сроки схватывания цементов.

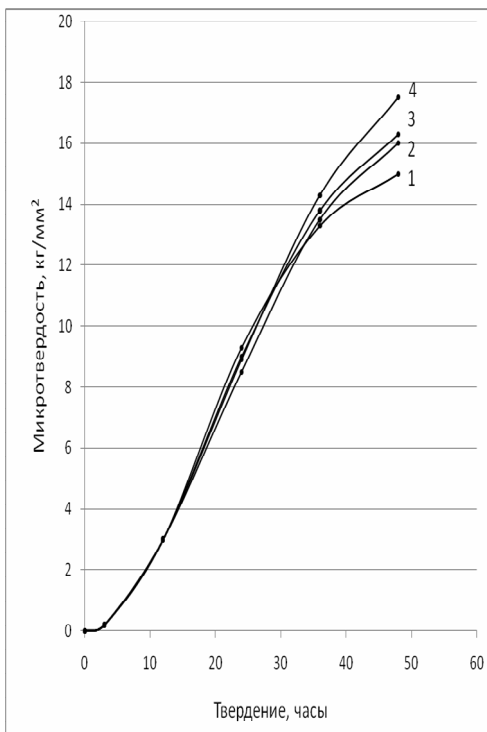


Рис.3 – Зависимость изменения микротвердости образцов в ранние сроки твердения цементов (номера кривых соответствуют нумерации табл.3)

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- допустимо и целесообразно использовать для регулирования сроков схватывания портландцемента гидрокарбоалюминаты кальция вместо гидросульфоалюминатов;
- предлагаемая замена части гипсового камня, клинкера и шлака на активный карбонатный компонент собственной сырьевой базы позволит существенно снизить себестоимость продукции цементных заводов.

Для подтверждения данных выводов необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований, согласно требованиям действующих стандартов на методы испытаний цементов.

1. Баженов Ю. М. Технология бетона / Ю. М. Баженов. – М.: Высш. шк., 1978. – 455 с.
2. Сулименко Л. М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе / Л. М. Сулименко. – М.: Высш. шк., 1983. – 320 с.
3. Ли Ф. М. Химия цемента и бетона / Ф. М. Ли. – М.: Госстройиздат, 1961. – 645 с.
4. Бутт Ю. М. Влияние тонкодисперсного карбоната кальция на процесс твердения и состав продуктов гидратации силикатного бетона / Ю. М. Бутт, В. М. Колбасов, Е. С. Савина // Строительные материалы. – 1975. – № 3. – С. 33-35.
5. Тимашев В. В., Колбасов В. Н. Свойства цементов с карбонатными добавками // Цемент. – 1981. № 10. – С. 10-12.
6. Добавка известняка в цемент [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ceprocem.com.ua>.
7. ДСТУ Б В.2.7-46-2010. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.

*Получено 14.10.2011*

УДК 69.059.32 : 624.012

**С. А. ВОРОБЬЕВА**

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **ХАРАКТЕР ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ СЖАТЫМИ И СЖАТО-ИЗОГНУТЫМИ СТЕРЖНЯМИ**

Рассмотрен вопрос исследования устойчивости стержней и стержневых систем, проанализирован характер различных видов потери их устойчивости, а также поведение сжато-изогнутого стержня при воздействии центрального сжатия.

Розглянуто питання дослідження стійкості стержнів і стержневих систем, проаналізовано характер різних видів втрати їх стійкості, а також поведінку стисло-зігнутого стержня при дії центрального стиснення.

The question of research of stability of bars and cored systems is considered, character of different types of loss of their stability is analysed. The conduct of the briefly-bent bar is considered at influence of central compression.

*Ключевые слова:* стержень, устойчивость, центральное сжатие, внецентренное сжатие.

Строительные конструкции часто содержат сжатые или сжато-изогнутые стержни, которые в большинстве случаев и определяют несущую способность всей системы. При этом прочность сжатого или сжато-изогнутого стержня исчерпывается сравнительно редко, так как обычно раньше имеет место потеря его устойчивости. Естественно, что рассмотренные вопросы привлекали и привлекают сейчас внимание исследователей.